



Programmation d'automates industriels: Adaptation par des débutants d'une méthode de spécification de procédures automatisées

Alexandre Morais, Willemien Visser

► To cite this version:

Alexandre Morais, Willemien Visser. Programmation d'automates industriels: Adaptation par des débutants d'une méthode de spécification de procédures automatisées. *Psychologie Française*, 1987, No. spécial "L'interaction et ses processus d'influence", 32, pp.253-259. hal-00641333

HAL Id: hal-00641333

<https://inria.hal.science/hal-00641333>

Submitted on 15 Nov 2011

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

PROGRAMMATION D'AUTOMATES INDUSTRIELS : ADAPTATION PAR DES DEBUTANTS D'UNE METHODE DE SPECIFICATION DE PROCEDURES AUTOMATISEES

Alexandre MORAIS¹

Willemien VISSER
Projet de Psychologie Ergonomique pour l'Informatique
INRIA Domaine de Voluceau Rocquencourt B.P. 105
78153 Le Chesnay Cedex France

Abstract. This paper presents the way in which control engineering students use -and modify- the specification method they learned to analyse the functioning of an automated process (a method based on the Grafcet formalism). The students were studied during a "programmable controller" program design task in which they had to make a functional analysis of the functioning of an automated process. The study shows the specific role of prerequisites. The students modified the Grafcet method they had learned in order to adapt it to their mental representation of the functioning they had to analyse. In particular, they did this by processing the aspects of the process directly related to its goal before the process prerequisites. The results are interpreted in terms of the different statuses of these aspects in the students' mental representations..

Mots-clés. Program design, Software design, Grafcet, Functional specification, Mental representation, Students, Novices, Industrial programmable controller, Automated machine-tool installation, Goals-Prerequisites

Résumé. On a étudié l'utilisation par des automaticiens débutants d'une méthode de spécification (Grafcet) pour l'analyse du fonctionnement d'un procédé automatisé. Les élèves modifient la méthode enseignée pour l'adapter à leur représentation de ce fonctionnement, notamment en traitant les aspects de la procédure reliés directement au but avant ses prérequis. Ces résultats sont interprétés en termes du statut différent de ces aspects dans leur représentation en mémoire.

Mots-clés. Programmation, Automate programmable industriel, Grafcet, Analyse fonctionnelle, Spécification, Machine-outil automatisée, Représentation mentale, Buts-Prérequis.

1. Introduction

A. Programmation d'Automates Programmables Industriels. Un automate est un ordinateur spécialisé dans la commande de séquences d'opérations exécutées par un procédé automatisé. Les informations traitées par l'automate traduisent alors, à côté d'informations symboliques qui sont le résultat de traitements internes à l'automate, des informations physiques, à savoir les actions sur le procédé commandé et les états qui en résultent.

La programmation de ces automates est particulièrement intéressante à étudier comme explicitation de procédures parce qu'elle exige l'analyse et la description exhaustive de la façon dont une suite d'actions doit s'articuler pour pouvoir être commandée par un dispositif informatique.

¹ Ce travail a été réalisé alors qu'Alexandre Morais était boursier de thèse à l'INRIA, où Willemien Visser l'a encadré.

Dans ce contexte, l'étude de la conception d'un programme d'automate peut être rapprochée de recherches conduites sur l'organisation et l'utilisation de connaissances d'actions.

En proposant un modèle hiérarchique pour rendre compte de l'organisation de celles-ci, Richard (1986) conclut, à partir de recherches sur l'utilisation de ces connaissances, que, selon la tâche à accomplir, des éléments d'information appartenant à des niveaux hiérarchiques différents sont traités. Des études conduites spécifiquement sur la programmation tendent à montrer que, selon leur niveau d'expertise, des sujets ne font pas le même appel à ces différents niveaux (Onorato & Schvaneveldt, 1986).

B. Objectif de l'étude. Comme pour d'autres types de programmation, les élèves automaticiens apprennent à analyser le problème qui leur est proposé avant de passer au codage proprement dit. L'objectif de l'étude présentée ici est d'examiner comment des automaticiens débutants utilisent la méthode d'analyse qui leur est enseignée, notamment sous l'angle de l'explicitation de différents types de connaissances d'actions. Deux raisons président à ce choix :

1. Un changement de méthode d'analyse conduit des programmeurs expérimentés à modifier leur stratégie de programmation. Nous avons pu observer ainsi comment un sujet expérimenté adapte une nouvelle méthode d'analyse à la représentation qu'il avait précédemment du procédé. Tandis que l'ancienne méthode conduisait à un traitement global du procédé, la nouvelle impliquait une décomposition de celui-ci. L'opérateur construit alors, dans un premier temps, des modules tel que le demande la nouvelle méthode. Sa décomposition n'est cependant pas assez fine : les modules sont encore décomposables (Morais, 1987).

Nous avons voulu étudier chez des novices si l'on observe également un phénomène d'adaptation et quelle en est l'origine. On peut en effet s'attendre à ce que, même s'ils ne connaissent pas une autre méthode, ils possèdent un modèle de référence dans lequel leur représentation de la sémantique des actions joue un rôle important.

2. La deuxième raison est propre à la méthode enseignée. Il s'agit d'un outil de spécification (c'est-à-dire un formalisme ayant comme objectif de décrire les fonctions qu'un système doit remplir) développé récemment en France par une commission de l'Association Française pour la Cybernétique Economique et Technique (AFCET). Celle-ci a voulu "homogénéiser [ainsi] les différentes approches [de description du cahier des charges d'un système logique] afin d'aboutir à la définition d'un outil unique de spécification" (Blanchard, 1978). Jusqu'ici le formalisme en question n'est pas encore utilisé à une large échelle dans l'industrie. Dans quelques entreprises, des membres des départements "Méthodes" proposent qu'il soit adopté à la place des divers formats de représentation utilisés jusqu'ici. En revanche, il est enseigné aux jeunes qui sortent actuellement des formations d'automaticien. Etant donné le niveau d'abstraction qu'il exige de l'automaticien (cf. ci-dessous), nous nous sommes intéressés à son utilisation par des automaticiens débutants.

2. Expérience

A. Méthode d'analyse enseignée. Pour spécifier un système automatisé sous la forme d'une représentation de son fonctionnement, les élèves automaticiens ont appris à utiliser la méthode du "grafcet" (Graphe de Commande Etape-Transition) (cf. Blanchard, 1978).

a. Grafcet. Nous décrivons le Grafcet dans sa forme la plus simple, celle qui est suffisante pour rendre compte du Grafcet représentant le problème traité dans notre étude.

Le grafcet est un graphe qui se compose d'étapes et de transitions. A chaque étape sont associées une ou plusieurs actions concernant le procédé. A chaque transition séparant deux étapes consécutives est associée une "réceptivité", c'est-à-dire une ou plusieurs conditions qui gouvernent le passage entre les étapes.

b. Production d'un Grafcet en deux phases. Les élèves ont appris à construire le grafcet en deux phases, résultant en deux grafcets de "niveau" différent.

Le grafcet du premier niveau "décrira le comportement de l'automatisme vis-à-vis du processus", "sans présumer en aucune façon des technologies employées tant dans l'automatisme que dans le processus lui-même" (Blanchard, 1978, p. 69). Il définit les exigences fonctionnelles.

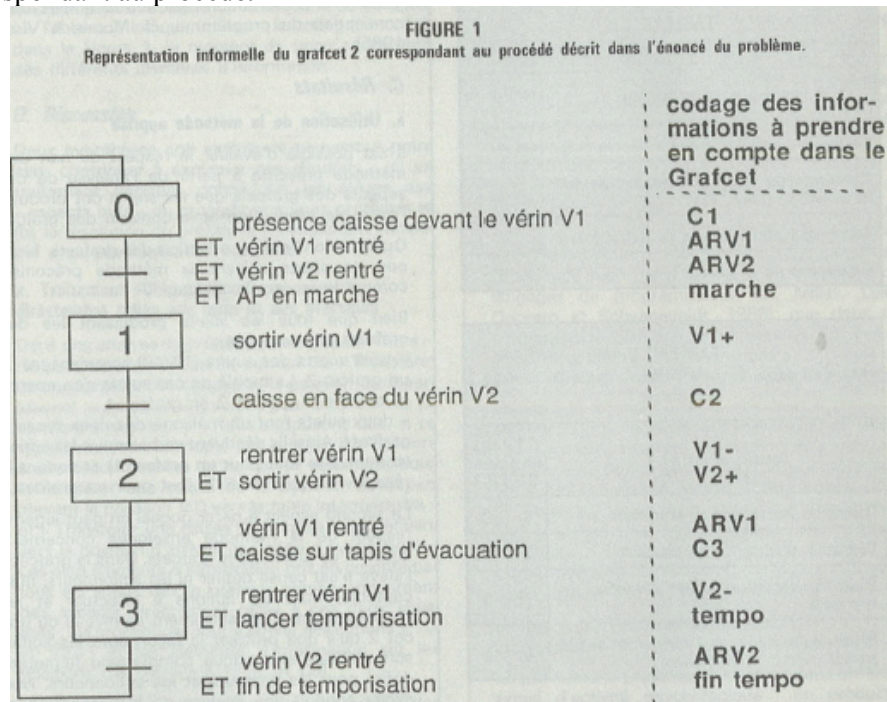
Le grafcet du deuxième niveau "apportera, grâce aux spécifications technologiques et opérationnelles, les précisions indispensables quant aux conditions de fonctionnement des matériels" (ibid.).

Une telle distinction suppose, chez les utilisateurs de la méthode, une grande capacité d'abstraction puisqu'il s'agit pour eux de traiter le fonctionnement du procédé à un niveau abstrait (description sur le Grafcet1 des opérations indépendamment des organes qui les exécutent) avant de passer à une description explicitant les moyens utilisés (les organes) pour réaliser ce fonctionnement (grafcet2).

Pour le grafcet1, la méthode enseignée reprend les recommandations données par les constructeurs du grafcet. Contrairement aux normes grafcet, les élèves apprennent à construire un grafcet2 qui traduit le grafcet1 en termes du langage de l'automate utilisé. Nous renverrons par "grafcet2" à une représentation conforme à l'enseignement reçu par les élèves.

B. Méthode suivie pour l'étude

a. Matériel. Un texte, décrivant un système simple à automatiser, accompagné d'un schéma du procédé physique, constituait l'énoncé du problème (cf. Annexe 1). A titre illustratif, la Figure1 présente le grafcet2 correspondant au procédé.



Elle le présente de façon informelle. Cette figure comprend toutes les informations qui doivent figurer dans un grafcet2. Dans un souci de lisibilité, elle les présente cependant sous un autre format que le grafcet2 que les élèves sont censés construire. Dans celui-ci, toutes les informations sont codées en termes de variables d'automate. Ainsi, l'action associée à l'étape 1 ne serait pas codée "sortir vérin V1" mais, par exemple, "A36", c'est-à-dire par le bit-sortie (renvoyant au vérin-Actionneur) n°36. La réceptivité associée à la transition entre les étapes 1 et 2 ne serait pas codée "caisse sur tapis d'évacuation" mais, par exemple, "E127", c'est-à-dire par le bit-Entrée (renvoyant au capteur-détecteur de position) n°127.

Le grafcet1 tel que l'élève devrait le produire ressemblerait beaucoup à la figure 1, en ce qui concerne son format: les informations y doivent être codées en langage naturel. Le grafcet de la figure1 présente cependant toutes les actions et informations, tandis qu'un grafcet1 ne présenterait ni les actions de rentrée des vérins, ni les informations concernant le contrôle des positions rentrées qui en résultent. C'est que le fait d'avoir à commander ou non la rentrée des vérins correspondant aux poussoirs dépend de la technologie utilisée.

Nous avons indiqué, dans cette figure, à côté de toute action ou condition, un codage des éléments d'information correspondants, pour pouvoir y renvoyer dans la présentation des résultats (notamment dans le tableau 3).

b. Sujets. L'expérience a porté sur 19 sujets, élèves d'un Lycée Technique. Tous étaient volontaires pour participer à cette expérience.

Les élèves provenaient de deux classes, Terminale E et deuxième année du Brevet de Technicien Supérieur. Deux années de formation séparaient ces deux groupes. Comme ce facteur n'a pas eu d'effet important, nous ne distinguons pas ici ces deux classes (cf. Morais & Visser, 1985, pour les résultats concernant les différences constatées).

c. Procédure. Les sujets sont examinés en passation individuelle. Le temps de travail est libre. La consigne est donnée avant la présentation de l'énoncé. Elle demande à l'élève d'élaborer un programme remplissant les fonctions décrites par le texte et le schéma. Ce programme est destiné à un automate avec lequel le sujet est familier. Il est demandé au sujet de passer, avant d'écrire le programme, par un grafcet1 et un grafcet2, comme il l'a appris. La tâche s'arrête lorsque le sujet a écrit, sur papier, le programme. En outre, nous lui demandons de "penser tout haut", de dire ce qu'il fait et pense dès l'instant où il reçoit l'énoncé du problème (technique de verbalisation simultanée provoquée, cf. Ericsson et Simon, 1980; Hoc et Leplat, 1983).

Dans cet article, nous ne nous intéressons qu'aux résultats concernant la construction des grafcets (pour une présentation des autres étapes de la conception du programme, cf. Morais & Visser, 1985).

C. Résultats

a. Utilisation de la méthode apprise. Il est possible d'évaluer le respect ou non de la méthode prescrite à partir de l'analyse de deux aspects des grafcets que les sujets ont produits : l'ordre de production et le contenu des grafcets.

Quant à l'ordre de production des grafcets1 et 2, peu de sujets suivent la méthode préconisée, comme le montre le tableau 1.

Ce texte est un pre-print de
Morais, A., & Visser, W. (1987). Programmation d'automates industriels : Adaptation par des débutants d'une méthode de spécification de procédures automatisées. *Psychologie Française, No. spécial "L'interaction et ses processus d'influence"*, 32, 253-259.

TABLEAU 1 Le premier grafset produit par les sujets	
PREMIER GRAFCET PRODUIT	nombre de sujets
Commencent par un grafset 1	4
Commencent par un grafset 2 puis se reprennent et en font un grafset 1	7
Commencent par un mélange de grafset 1 et 2	2
Commencent par un grafset 2	6

TABLEAU 2 Nombre de sujets donnant différents types de contenu à leur grafset 1		
Contenu du grafset 1	G 1 avant G 2	G 1 après G 2
Désignation des capteurs et actionneurs	6	0
Désignation d'actions et des capteurs	2	2
Désignation des actionneurs et d'informations sur le procédé	1	0
Désignation d'actions et d'informations sur le procédé (respect de la méthode)	4	4

TABLEAU 3 Moment de traitement des différents éléments d'information (cf. Figure 1 pour le codage des éléments d'information)				
élément d'info	moment de prise en compte			
	ét 1	ét 2	écr. pg.	non p.e.c.
V 1 +	19			
V 2 +	19			
C 1	19			
C 2	19			
C 3	19			
ARV 1	12	6	1	
ARV 2	12	6	1	
V 1 —	10	7	2	
V 2 —	10	7	2	
temps	7	5	3	4
fin temps	7	5	3	4
marche	12	1		6

ét 1 lors de la première étape de construction de grafset
ét 2 lors de la deuxième étape de construction de grafset
écr. pg. lors de l'écriture du programme
non p.e.c. non prise en compte

Bien que tous les sujets produisent les deux grafjets, on note que :

- trois quarts des sujets (13/19) commencent par un grafjet2. La moitié de ces sujets s'en aperçoit et modifie le grafjet2 en grafjet1;
- deux sujets font un mélange des deux types de grafjets. Ainsi ils décrivent verbalement les actions (comme il le faut pour un grafjet1) et codent les réceptivités (comme il le faut pour un grafjet2).

Le second aspect à partir duquel on peut juger du respect de la méthode enseignée concerne le contenu de chacun des grafjets. Dans le grafjet1, l'élève n'est censé définir ni les actionneurs, ni les capteurs, mais les actions à effectuer et leur enchaînement. C'est seulement au niveau du grafjet2 qu'il doit préciser la façon dont les actions sont réalisées en pratique, compte tenu du matériel défini pour les capteurs et les actionneurs. Nous avons conduit une analyse de la description qui figurait dans le grafjet1 pour chaque sujet selon qu'il commence par un grafjet1 ou 2. Nous n'avons pas conduit d'analyse analogue pour les grafjets2 car, abstraction faite de leur moment de production, ils répondent à la méthode apprise : ils contiennent une description codée du procédé. S'ils ne correspondent pas au grafjet2 demandé, c'est qu'il y a des actions et/ou des réceptivités qui y sont omises.

Comme le montre le tableau 2,

- moins de la moitié des sujets (8/19) produit un grafjet1 conforme à la méthode prescrite quant au contenu du grafjet1;
- les autres sujets (11/19) produisent des grafjets1 dans lesquels les actionneurs et/ou les capteurs sont définis.

Si l'on considère les deux critères d'évaluation du respect de la méthode enseignée, à savoir le premier grafjet produit et le contenu de ce premier grafjet, on note que seulement 20% des sujets (4/19) suivent la méthode enseignée. Nous tenterons dans le paragraphe suivant de comprendre ce qui explique ce non-respect de la méthode. Pour ce faire nous analyserons l'utilisation que les sujets font de chacune des deux étapes dans la construction des grafjets.

b. Adaptation de la méthode apprise. Nous examinons ici le contenu des deux premières étapes de l'activité des sujets afin de voir, pour chaque élément d'information, le nombre de sujets qui l'ont pris en compte dans chacune des étapes. Le Tableau 3 indique, utilisant le codage introduit dans la Figure 1, le moment de prise en compte des différents éléments d'information.

D. Discussion.

Deux hypothèses non exclusives peuvent, à notre avis, contribuer à expliquer ces résultats : (a) un traitement différent donné par les élèves aux "aspects buts" du procédé et à leurs prérequis et (b) la résolution du problème en exploitant l'analogie avec une réalisation manuelle.

a. Traitement différent donné aux aspects directement reliés aux buts et aux prérequis. Dans une analyse du procédé en termes de "buts", on peut considérer que le but est de "Transférer en permanence des caisses de la position de départ (devant le poussoir V1) vers la position d'arrivée (la bande d'évacuation)". Nous supposons que, si ce type d'analyse est adopté par le sujet, il procèdera à une décomposition de ce but en deux sous-buts, "Transférer une caisse de la position de départ (devant le poussoir V1) vers la table intermédiaire" et "Transférer une caisse de la table intermédiaire vers la position d'arrivée (la bande d'évacuation)".

Les cinq éléments d'information pris en compte par tous les sujets dès le premier graphe concernent des aspects directement reliés à ces deux sous-buts: les procédures pour y arriver (les actions V1+ et V2+) et les éléments d'information sur les positions des caisses (C1, C2 et C3).

Les autres éléments d'information traduisent des prérequis de ces procédures: les éléments d'information sur le moment de départ de la première action (le lancement d'une temporisation et sa fin, la marche de l'automate), les états de départ des actionneurs (ARV1 et ARV2) et les actions pour parvenir à ces états (V1- et V2-). Ces différents éléments d'information ne sont pas pris en compte par tous les sujets au niveau de la première étape. En outre, certains sujets les omettent jusqu'à la rédaction du programme définitif.

Les résultats obtenus peuvent s'interpréter alors comme reflétant le fait que, lors de l'analyse d'un système décomposable en termes de buts (et sous-buts) à atteindre, les aspects directement reliés à l'atteinte de ces buts sont pris en compte avant leurs prérequis. Les élèves, disposant d'une méthode en deux étapes pour l'analyse d'un procédé automatisé, l'adaptent à leurs besoins en traitant ces deux types d'aspects dans cet ordre dans les deux étapes.

b. L'analogie manuelle. Nous supposons que, pour des débutants dans l'analyse d'un procédé automatisé, la procédure manuelle pour exécuter les opérations du procédé fournit une analogie utile. La programmation de ce procédé sera alors analogue à l'explicitation de cette procédure à un opérateur humain. Dans cette hypothèse, il n'est pas étonnant que les éléments correspondant aux actions de déplacement des caisses et au repérage de leur position soient les seuls à être mentionnés dans un premier temps. Pour faire exécuter un transfert manuel par un opérateur, l'explicitation de ces seuls éléments suffit. Les autres actions et conditions n'ont pas à être décrites, car elles seront assurées "automatiquement". Par exemple, il n'est pas utile d'explicitier qu'il faut retirer son bras avant de pouvoir l'avancer.

La non-explicitation de ce qui est "évident" est un phénomène constaté, aussi bien dans un contexte de "programmation en langue naturelle" (production d'instructions procédurales) par des sujets sans expérience avec des systèmes informatiques et des langages de programmation (cf. Miller, 1981; Onorato et Schvaneveldt, 1986), que dans des contextes de dialogue entre experts (cf. Falzon, 1986, pour une revue de questions sous l'angle des "langages opératifs" utilisés dans ces interactions).

Quant à la compréhension, des études conduites sur des textes narratifs ont montré qu'un lecteur peut faire les inférences nécessaires pour comprendre les liens non explicités (du type "prérequis") entre des actions (cf. Singer, 1980, Visser, 1985). Un texte qui les explicite sera cependant compris plus facilement, car, comme nous l'avons montré (cf. Visser, 1983), leur construction exige des ressources cognitives (plus ou moins coûteuses selon le type d'inférences demandées).

c. Lien entre ces deux explications: représentation de prérequis en mémoire. Le phénomène présenté ici apparaît dans différents types d'activité psychologique: en production (d'instructions, de dialogues en langage opératif, d'analyse de procédures) et en compréhension (de textes narratifs, d'instructions, de dialogues en langage opératif). Une tentative d'explication peut s'appuyer sur la représentation de ces prérequis en mémoire.

On peut supposer, par exemple, que dans la représentation d'une action, les prérequis de celle-ci sont moins "saillants" que les aspects but. Pour expliquer les phénomènes constatés, il faut alors un modèle de la façon dont, dans les représentations en mémoire, différents aspects ont des statuts structurels et/ou procéduraux différents. Au niveau des signifiés, Le Ny (1979) propose une analyse en termes de "relief structural" d'un attribut dans un signifié". Au sujet d'unités de signification plus grandes (les "schémas d'action"), Richard (1986) suggère une organisation hiérarchique des différents éléments d'information concernant une action: les prérequis s'y situent au niveau le plus bas et leur accès se fera après celui des buts.

On peut finalement faire appel à la notion de "typicalité". Cordier (1987) a constaté que, dans la représentation d'actions, le résultat de celles-ci a un statut sémantique privilégié comparé avec celui des états traversés pour arriver à cet état résultant.

3. Conclusion

En distinguant un grafcet1 et un grafcet2, les constructeurs du grafcet ont proposé un outil de spécification permettant une élaboration progressive de la représentation du fonctionnement d'un système automatisé. Les élèves qui ont appris cette méthode d'analyse procèdent en effet à une construction du grafcet en deux étapes, mais utilisent ces deux représentations à d'autres fins. Le passage d'un premier à un deuxième grafcet ne correspond pas chez eux, comme la méthode le préconise, au passage de (a) un fonctionnement dans la description duquel les moyens utilisés n'apparaissent pas à (b) la réalisation matérielle de ce fonctionnement. Les élèves utilisent les deux étapes pour procéder à une analyse progressive de cette réalisation matérielle.

A. Détection de prérequis. Nous avons constaté le statut spécifique des prérequis dans l'analyse d'un système décomposable en termes de "buts". L'étude présentée ici a été conduite sur des débutants (par rapport à la méthode) et on pourrait penser que, avec l'expérience, les prérequis perdent ce statut spécifique. Dans une étude conduite sur un opérateur expérimenté ayant à spécifier le fonctionnement d'un système automatisé à l'aide de son outil habituel (autre que le grafcet), nous avons trouvé une différence comparable entre la détection d'opérations conduisant directement au but et celle d'opérations constituant des prérequis pour les premières (cf. Visser, 1987).

B. Méthode d'analyse de systèmes automatisés. Nous avons vu que la méthode d'analyse en deux étapes du grafcet proposée par l'AFCET et reprise dans l'enseignement des futurs automaticiens n'est pas suivie par les sujets examinés. Est-ce qu'il faut en conclure que la méthode n'est pas appropriée? Nous estimons que la réponse à cette question dépend de l'utilisation visée.

a. Utilisation pour l'apprentissage. Les résultats de notre étude tendent à montrer que les élèves profitent d'une analyse d'un système automatisé en deux étapes si celles-ci correspondent à la prise en compte progressive des différents aspects fonctionnels du système. Le premier grafcet traduit alors la représentation des aspects directement liés au but, dans le deuxième s'y intègrent les autres aspects, c'est-à-dire les prérequis propres à un fonctionnement automatique du procédé.

b. Utilisation par des automaticiens confirmés. La distinction, préconisée par les normes grafcet, entre la représentation d'un procédé indépendamment de la technologie utilisée pour le réaliser et celle qui spécifie les contraintes technologiques peut avoir son utilité dans un contexte industriel où le choix des moyens utilisés est un facteur important dans la conception d'un système. Nous avons observé

cependant, dans une étude conduite sur la conception d'installations automatisées, un automaticien confirmé qui construisait des grafjets non conformes à ces normes. Dans ces graphes, il décrivait verbalement les actions sans préciser les organes concernés, alors que pour exprimer les conditions il précisait ces derniers (cf. Morais, 1987). Il est vrai que cette utilisation du grafjet intervenait dans une étape de la conception dans laquelle les choix de matériel avaient déjà été faits.

Dans cette même étude, nous avons constaté qu'un mécanicien avec une longue expérience du métier, c'est-à-dire d'analyse de procédés automatisés, mais qui utilisait pour la première fois le grafjet comme outil de spécification, procédait comme les élèves observés ici. Il utilisait en effet une stratégie qui consistait à décrire d'abord les fonctions du procédé, puis les prérequis de ces fonctions. On peut se demander alors si c'est la nouveauté de l'outil qui induit cette analyse en deux étapes ou si la détection des prérequis continue à poser problème, même à un automaticien confirmé. Indépendamment de l'adoption ou non des normes grafjet, on peut alors penser qu'un outil qui assisterait l'opérateur dans cette détection des prérequis devrait être utile pour l'analyse du fonctionnement de systèmes automatisés.

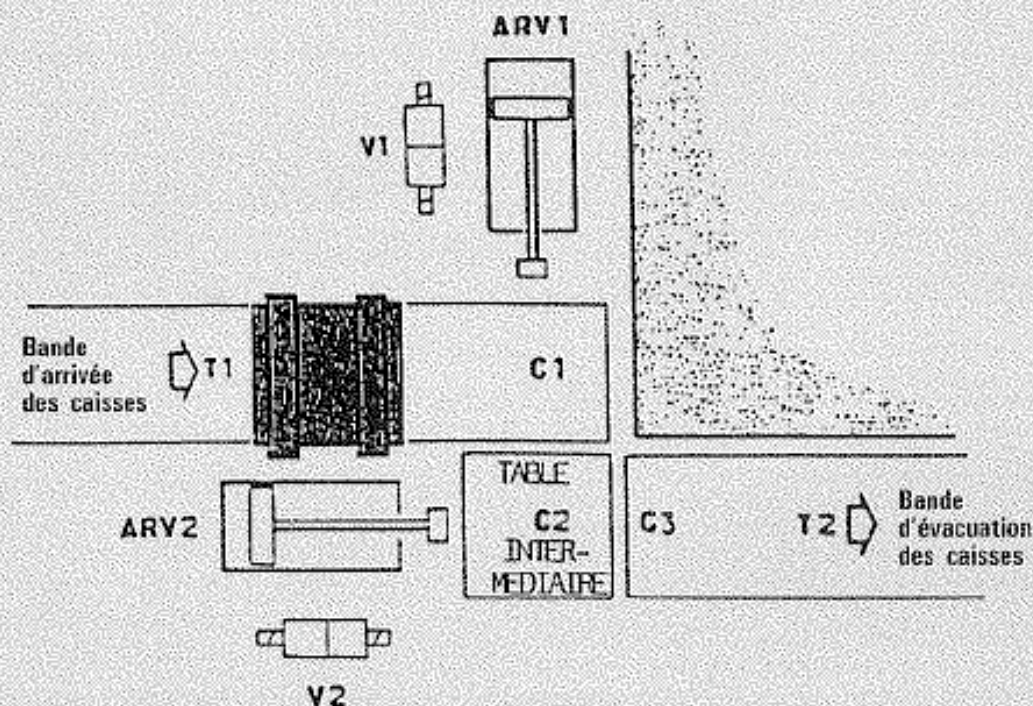
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BLANCHARD, M. Rapport de la "Commission de normalisation du cahier des charges d'un automatisme logique" (Groupe de Travail AFCET "Systèmes logiques"). *Automatisme*, 1978, Mars-Avril, 66-83.
- CORDIER, F. Catégorisation d'objets, de relations, de procès: effets de typicalité. Actes du colloque COGNITIVA 87 (tome 1). Paris: Cesta, 1987.
- ERICSSON, K. A. & SIMON, H. A. Verbal reports as data. *Psychological Review*, 1980, 87, 215-251.
- FALZON, P. Langages opératifs et compréhension opérative. Thèse de doctorat, Paris, Université Paris V, 1986.
- HOC, J.M. & LEPLAT, J. Evaluation of different modalities of verbalization in a sorting task. *International Journal of Man-Machine Studies*, 1983, 18, 283-306.
- LE NY, J.-F. La sémantique psychologique. Paris: PUF, 1979.
- MILLER, A. Natural language programming: Styles, strategies, and contrasts. *IBM Systems Journal*, 1981, 20, 184-215.
- MORAIS, A. Acquisition d'un outil de spécification (GRAFCET) pour décrire un procédé automatisé (Rapport de Recherche INRIA n°631). Rocquencourt: INRIA, 1987. Disponible à <http://hal.inria.fr/inria-00075922/fr/>
- MORAIS, A., & VISSER, W. Etude exploratoire de la programmation d'automates industriels chez des élèves de l'enseignement technique (Rapport de Recherche INRIA n°404). Rocquencourt: INRIA, 1985. Disponible à <http://hal.inria.fr/inria-00076152/fr/>
- ONORATO, L.A. & SCHVANEVELDT, R.W. Programmer/nonprogrammer differences in specifying procedures to people and computers. In E. Soloway & S. Iyengar (Eds.), *Empirical studies of programmers. Papers presented at the First Workshop on Empirical Studies of Programmers*. June 5-6, 1986, Washington, DC. Norwood, N.J.: Ablex, 1986.
- RICHARD, J.-F. The semantics of action: its processing as a function of the task (Rapport de recherche INRIA n° 542). Rocquencourt: INRIA, 1986.
- SINGER, M. The role of case-filling inferences in the coherence of brief passages. *Discourse Processes*, 1980, 3, 185-201.

- VISSER, W. Etude psychologique des inférences comme chaînons dans le discours. Thèse de doctorat de troisième cycle, Saint-Denis, Université Paris VIII, 1983.
- VISSER, W. L'activation d'un signifié par la compréhension d'une phrase: sa force et ses déterminants. *Cahiers de Psychologie Cognitive*, 1985, 5, 23-41.
- VISSER, W. Abandon d'un plan hiérarchique dans une activité de conception. Actes du colloque COGNITIVA 87 (tome 1). Paris: Cesta, 1987.

Annexe 1

Le texte et le schéma du problème utilisé dans l'expérimentation



Fonctionnement

Les caisses arrivent par le tapis T1. Un capteur C1 détecte leur présence en face du poussoir V1. La caisse est transférée sur la table intermédiaire. Un capteur C2 permet de la détecter en face du poussoir V2 qui peut alors la transférer sur le tapis d'évacuation T2 (où un capteur C3 la détecte) après quoi le transfert est réalisé. Des capteurs de position permettent de s'assurer que les poussoirs V1 et V2 sont en position arrière (ARV1 et ARV2). Après une temporisation garantissant l'évacuation de la caisse, le cycle reprend. Les tapis T1 et T2 fonctionnent constamment.